



Kuivatusviiran pesurin energiansiirtoketjun optimointi

Otto Heikkinen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2020
Tekniikan ala
Insinööri (AMK), konetekniikan tutkinto-ohjelma
Tuotekehitys

Jyväskylän ammattikorkeakoulu
JAMK University of Applied Sciences

Tekijä(t) Heikkinen, Otto	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2020
	Sivumäärä 40	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Kuivatusviiran pesurin energiansiirtoketjun optimointi		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), konetekniikka		
Työn ohjaaja(t) Janne Lappi, Petri Luosma		
Toimeksiantaja(t) Valmet Technologies Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Valmet Technologies Oy:lle. Tehtävänä oli optimoida kuivatusviiran pesurin energiansiirtoketju ja imuletku, koska ongelmana oli nykyisen imuletkun rikkoutuminen energiansiirtoketjun sisään. Yhtenä tavoitteina oli löytää uusia komponenttivalintoja pesuriin niin, että nykyisiin pesureihin saataisiin kestävämpi vaihtoehto ja uusiin valmistettaviin pesureihin saataisiin suurempi imuletku ja energiansiirtoketju. Toisena tavoitteena oli tutkia nykyisen imuletkun rikkoutumisen vaikuttavia tekijöitä ja saada laajempi käsitys ilmiöstä.</p> <p>Opinnäytetyö oli luonteeltaan kehitystutkimus. Tutkimusosuus keskittyi letkun rikkoutumiseen vaikuttaviin tekijöihin ja kehitystyö keskittyi uusien komponenttien löytämiseen. Tutkimusaineistoa kerättiin kirjoista, tuote-esitteistä, koulutusmateriaaleista sekä asiantuntijoiden haastatteluista. Suurin osa aineistosta oli toimeksiantajalta, koska kyseinen pesuri on Valmet Technologies Oy:n omaisuutta. Kehitystyöhön valikoituneet komponenttien toimittajat olivat pääosin kansainvälisiä yrityksiä, joilla on maahantuoja Suomessa.</p> <p>Tutkimuksessa selvisi suurimmat vaikuttavat tekijät, jotka rikkovat imuletkun. Näitä olivat huuven sisäinen lämpötila, pesurin tekemä työsykli, letkun liiallinen taivutussäde ja alhainen lämpötilankesto. Lisäksi selvisi, ettei nykyinen imuletkun ollutkaan ominaisuuksiltaan vaadittua tasoa. Tutkimuksesta saatuja tietoja käytettiin apuna kehitystyössä. Kehitystyön tuloksena toimeksiantajalle esitettiin komponenttivalintoja imuletkun ja energiansiirtoketjun tilalle, mistä valittiin ne vaihtoehdot, jotka täyttävät toimeksiantajan kanssa luodut kriteerit.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Energiansiirtoketju, teollisuusletku, paperikoneen huuva, kuivatusviira		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Heikkinen, Otto	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2020
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 40	Permission for web publication: x
Title of publication Optimization of the drying wire washers cable carrier		
Degree programme Degree programme in mechanical engineering		
Supervisor(s) Lappi Janne, Luosma Petri		
Assigned by Valmet Technologies Oy		
<p>Abstract</p> <p>The study was commissioned by Valmet Technologies. The topic of the study was to optimize the cable carrier and suction hose of the dryer wire washer, since the issue was with the current suction hose which ruptured inside the cable carrier. One of the goals was to find new component options for the device, to provide a more durable alternative for the existing washers and a larger suction hose and a cable carrier for new washers in production. Another goal was to investigate the current factors influencing suction hose rupture and to gain a wider understanding of the phenomenon.</p> <p>The study was a development work. The research part focused on the factors that ruptured the suction hose and development work focused on finding the new components. Research material was collected from books, product brochures, training materials, and interviews with experts. Most of the material was from the employer, as the washer in question was the property of Valmet Technologies Oy. Component suppliers selected for development work are mainly international companies, that have importers in Finland.</p> <p>The research revealed the major influencing factors, that break the suction hose. These included the internal temperature of the hood, the duty cycle made by the washer, the excessive bending radius and the low temperature resistance of the hose. In addition, it became clear, that the current suction hose was not at the level required from the properties. The information obtained from the study was used as an aid in the development work. As a result of the development work, component alternatives were presented to the client for the suction hose and the cable carrier, from which the options were chosen, that met the criteria's created with the employer.</p>		
Keywords/tags (subjects) Cable carrier, industrial hose, paper machine hood, dryer wire		
Miscellaneous (Confidential information)		

Sisältö

1	Johdanto	4
2	Tutkimusmenetelmä.....	5
3	Kehitystyön suunniteltu kulku	7
4	Pesurin toimintaympäristö	8
4.1	Paperikone.....	8
4.2	Huuva.....	9
4.3	Kuivatusviirat.....	10
4.4	Kuivatusviirojen likaantuminen.....	11
4.5	Pesuri	12
5	Teollisuusletku	13
5.1	Kumi materiaalina	13
5.2	Teollisuusletkun rakenne	14
5.3	Paine	16
5.4	Äärimmäisen ympäristön materiaalit.....	16
6	Yleisohjeet energiansiirtoketjulle.....	17
7	Nykyiset komponentit	20
7.1	Energiansiirtoketju	20
7.2	Imuletku ja sen ongelmat.....	21
8	Vaatimuslista.....	24
9	Palaverit komponenttitoimittajien kanssa	26
10	Imuletkun rikkoutumisen syyt	28
11	Kehitystyön tulokset.....	31
11.1	Imuletkun valinnat.....	31
11.2	Energiansiirtoketjun valinnat	33

12 Johtopäätökset ja pohdinta	34
Lähteet	36
Liitteet	38
Liite 1. Calilkler HT tiedote.....	38
Liite 2. Flexor R4 644 HT tiedote.....	39
Liite 3. Dragon Breath tiedote	40
 Kuviot	
 Kuvio 1. Paperikoneen huuva.....	9
Kuvio 2. Huuvan sisäiset lämpötilat tyypillisessä paperikoneessa.....	10
Kuvio 3. Viirapesurin pesupään leikkauskuva	12
Kuvio 4. 3D-malli kuivatusviiran pesurista	13
Kuvio 5. Matalapaineletku Carboflex GR	15
Kuvio 6. Esimerkki energiansiirtoketjusta	17
Kuvio 7. Kaapelien asennussuositukset	19
Kuvio 8. Energiansiirtoketjun painojakaumasuositukset	19
Kuvio 9. Energiansiirtoketju pesurissa	20
Kuvio 10. RV73535-letkun alkuvaurio	21
Kuvio 11. RV73535-letku hajonneena	22
Kuvio 12. AG 1000 HT -letkun vaurio	23
Kuvio 13. AG 1000 HT -letku energiansiirtoketjun sisällä	23
Kuvio 14. Energiansiirtoketjun taivutussäteen ilmoitustapa	27
Kuvio 15. Letkun taivutussäteen ilmoitustapa	27
Kuvio 16. Havainne kuva välipuolan muodosta	30
 Taulukot	
 Taulukko 1. Energiansiirtoketjun ja imuletkun vaatimuslista	25
Taulukko 2. Imuletkun valintataulukko	32

Taulukko 3. Energiansiirtoketjun valintataulukko.....	33
---	----

1 Johdanto

Paperikoneissa käytetään monenlaisia pesureita, joiden tarkoitus on pidentää laitteiston käyttöikää ja pitää paperin laatu korkealla tasolla. Pesureissa on useita komponentteja, jotka hajotessaan voivat pysäyttää pesurin toiminnan tai pahimmassa tapauksessa koko paperikoneen. Tämän ehkäisemiseksi paperikoneisiin tehdään huoltosuunnitelmia, jotta komponentit vaihdetaan ennen niiden rikkoutumista. Joidenkin pesurien huoltotyöt pystytään tekemään vain paperikoneen ollessaan pysähtyneenä, joten useilta pesurin komponenteilta halutaan vähintään vuoden käyttöikää, jotta ne kestäisivät suunniteltuihin huoltoväleihin asti.

Tämä opinnäytetyö käsittelee Valmet Technologies Oy:n toimittamien paperikoneen kuivatusviiran pesureiden tutkimuksen aikaista ongelmaa ja kuinka ratkaista se. Toimeksiantaja halusi ongelmaan laajempaa käsitystä ja muutoksen parempaan suuntaan. Opinnäytetyöhön liittyen pesuriin oli aikaisemmin tehty diplomityö, jonka perusteella imuletkun halkaisijan suurentaminen parantaisi pesurin toimintaa. Diplomityön on tehnyt Janne Piipponen (2018).

Toimeksiantajan ongelma oli pesurissa toimivan imuletkun rikkoutuminen energiansiirtoketjun sisään. Ratkaisuksi ongelmaan haettiin oikeanlaisia komponentteja, mutta sitä ennen täytyi tehdä selvitys, mitkä tekijät vaikuttivat imuletkun rikkoontumiseen. Tavoitteena oli saada pysymään pesuri toiminnassa tavoitellun aja eli vuosi-huollosta toiseen. Konkreettisesti ratkaisulla haetaan taloudellisia säästöjä, kuten Valmetin takuukulujen pienenemisen kautta ja asiakkaiden kustannusten hyötysuhteen parantamisella.

Ongelmaa oli yritetty aikaisemmin ratkaista pelkillä komponenttitesteillä ilman syvempää perehtymistä letkun rikkoutumiseen vaikuttaviin tekijöihin. Näiden testien tulokset eivät olleet tarpeeksi hyviä toimeksiantajalle, mutta olivat suuntaa antavaa tietoa tätä tutkimusta varten.

Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää toimeksiantajalle uusia komponentteja vanhentuneen kannan tilalle. Toimeksiantaja halusi nykyisten pesureiden imuletkun tilalle samankokoisen mutta kestävämmän vaihtoehdon ja uusiin valmistettaviin pesureihin

suuremmalla halkaisijalla olevan imuletkun. Imuletkun halkaisijan suurentaminen vaikuttaisi myös energiansiirtoketjuun, joten sillekin täytyi löytää vaihtoehtoja.

Valmet Technologies Oy, jäljempänä Valmet, on maailman johtava automaation, teknologian ja palveluiden toimittaja ja kehittäjä paperi-, energia- ja selluteollisuudessa. Valmet työllistää yli 13000 työntekijää ympäri maailmaa ja siitä Suomen osuus on noin 5000 henkilöä. Valmet tarjoaa myös kunnossapito- ja varaosapalveluita paperi- ja kartonkitehtaille. Liikevaihto vuonna 2019 oli noin 3,5 miljardia euroa. (Valmet lyhyesti 2019.)

Valmet panosti vuonna 2019 tutkimukseen ja kehitykseen 71 miljoonaa euroa. Vuosittain Valmet tuo markkinoille noin sata uutta tuotetta. Näitä tuotteita kehitetään yhteistyössä asiakkaiden, oppilaitosten ja tutkimuslaitosten koostuvasta verkostosta. (Tutkimus ja kehitys 2019.)

2 Tutkimusmenetelmä

Suurimmassa osissa tutkimusprosesseista noudatetaan samaa polkua, ollessaan tutkimusmuoto mikä tahansa. Tutkimus aloitetaan ongelmasta, jonka tutkija haluaa ratkaista ja johon hän osoittaa kiinnostusta. Ongelman taustalla on aina jokin käytännön tapahtuma, jota kutsutaan ilmiöksi. Ilmiö yleensä liittyy suoranaisesti ongelmaan tai ilmiö muokataan ongelmamuotoon, jos ongelma ei täsmälleen ilmene. Ongelman ratkaisemiseksi sen konteksti on selvitettävä ja syyt ongelman tapahtumiseen. (Kananen 2015, 11.)

Tässä tutkimuksessa selvitettävänä olivat letkun rikkoontumiseen vaikuttavat tekijät. Näitä voivat olla ympäristö, aika, materiaalit, mahdolliset kontaktit ja pesurin toiminta. Tutkimuksen tavoitteena oli saada parempi ymmärrys ilmiöstä ja ehkäistä letkun rikkoutuminen. Tähän sopivin tutkimustyyppi oli kehitystutkimus. Kehitystutkimuksessa tehdään kaksi prosessia: tutkimus, jonka tuloksena opinnäytetyö syntyy, ja kehittämistyö, joka kohdistetaan esimerkiksi tuotteeseen, palveluun, prosessiin tai toimintaan. Tutkimuksen tutkimusprosessi ja tutkimusmenetelmät riippuvat työssä kehitettävästä ilmiöstä ja sen luonteesta. Tutkijan täytyy hallita ja ymmärtää kehityksessä oleva kohde, työhön osallistuminen ja tutkimusprosessi. Kehittämiskohteeseen

ei liity tutkimuksellisia toimenpiteitä, vaan sitä pidetään ”teknisenä” prosessina. Tutkimustyö kohdistetaan kehitystyön alkuun ja loppuun. (Kananen 2012, 45.) Opinnäytetyön kehitystyö pyrki uusien komponenttien valintaan tutkimuksessa saatujen tulosten avulla.

Lähestymistavaksi valittiin kehittämistutkimus ja laadullinen tutkimusote, koska kehitystutkimus ei ole oma tutkimusmenetelmänsä, vaan se on joukko erilaisia tutkimusmenetelmiä, joita otetaan käyttöön kehittämiskohteen ja tilanteen mukaan. Kehittämistutkimus luokitellaan monimenetelmä tutkimusotteeksi, koska menetelmässä voidaan yhdistää kvantitatiivinen ja kvalitatiivinen tutkimusmenetelmä. Kehitystutkimuksissa on tarkoituksena tehdä muutos, joka poistaa ongelman tai jopa parantaa tilannetta jollain tavalla. (Kananen 2012, 19.) Lähtökohtaisesti laadullisessa tutkimuksessa tavoitellaan tutkimuskohteen eli ilmiön ymmärtämistä, kuten sen tekijöitä, rakennetta ja niiden välisiä kausaalisuhteita. Laadullisen tutkimuksen on sanottu soveltuvan parhaiten tilanteisiin, kun ilmiöstä ei ole tietoa tai ilmiöstä halutaan saada syvällinen näkemys. Kvantitatiivisessa eli määrällisessä tutkimuksessa lasketaan ilmiön määriä tai riippuvuussuhteita tekijöiden väliltä. Tämä tutkimustyyli edellyttää malleja tai teorioita tutkittavasta ilmiöstä eli ymmärrys ilmiöstä on jo olemassa. Kiteytettynä määrällinen tutkimus perustuu lukuihin ja laadullinen tutkimus hyödyntää sanoja ja lauseita. (Kananen 2012, 29.)

Aineistonkeruumenetelmänä käytettiin kirjallisuustutkimuksen ja laadullisen tutkimuksen menetelmää, koska kattavimmat tiedonlähteet olivat yksittäiset asiakirjat, verkkolähteet, haastattelut, havainnointi, kirjat ja dokumentit. Laadullisessa tutkimuksessa aineistonkeruumenetelmät voidaan jakaa kahteen aineistoryhmään, eli sekundääriaineistoon ja primääriaineistoon. Sekundääriaineisto on olemassa olevia dokumentteja ja primääriaineisto on tutkimusongelmaan kohdistetut aineisto. Sekundääriaineisto muodostuu ilmiöön liittyvistä kuvista, dokumenteista ja muista tallenteista. Primääriaineisto muodostuu ilmiöön kohdistetusta havainnoinnista, kyselyistä ja haastatteluista, joiden avulla aineisto on saatu. (Kananen 2015, 76.) Janne Piipposen diplomityö ja Juha Liikasen ottamat kuvat olivat tässä tutkimuksessa sekundääriaineistoa ja primääriaineistona toimivat havainnot ja haastattelut. Haastatelta-

vina olivat toimeksiantajan tuotepäällikkö Juha Liikanen, joka on vastuussa paperikoneen korkeapainelaitteistosta, ja Kari Juppi, joka toimii tuotekehityspäällikkönä kuivatusosastolla. Heidät valittiin haastateltaviksi, koska heillä on laajasti tietoa ja kokemusta tutkimuksen ongelmasta. Tutkimuksessa tehtyyn kirjallisuustutkimusmenetelmiin kuuluivat toimeksiantajalta saadut asiakirjat pesuriin liittyen, komponenttitoimittajilta saadut asiakirjat ja internetistä löytyneet verkkolähteet.

Tutkimuksessa kerättyä aineistoa analysoitiin laadullisen tutkimuksen menetelmillä, eli sisältöanalyysillä. Tässä tutkimusmuodossa aineisto oli pääosin tekstiä, jota tulkittiin eri metodeilla. Äänitteet, kuvat, videot tai mikä tahansa ihmisen aikaansaannos voi myös olla aineistoa. Analysoitaessa pieniä määriä aineistoa voidaan katsella tai lukea aineisto muutamia kertoja ja löytää aineiston viesti. Suurien aineistomäärien analysoinnissa tarvitaan yhdenmukaistamista eli äänitteiden tai videoiden muuttamista tekstimuotoon. Tämän jälkeen aineistoon pystytään perehtymään helposti lukemalla sen usean kerran. Näissä analyysimenetelmissä pyritään saamaan koko aineisto sellaiseen muotoon, jotta niitä on helppo tulkita. (Kananen 2015, 88.)

Tutkimuksen luotettavuus varmennettiin vertaamalla saatuja aineistoja eri lähteisiin, kuten haastatteluista saatuja tietoja verrattiin dokumentteihin ja kirjoihin tai samaa tietoa verrattiin verkkolähteistä kirjoihin. Haastattelujen luotettavuus perustui haastateltavien kokemukseen ja asiantuntijuuteen aiheesta.

3 Kehitystyön suunniteltu kulku

Kehitystyön aluksi luotiin vaatimuslista, jonka tarkoituksena oli luoda tietyt vaatimukset, joihin kehitystyön tuloksilla pyrittiin. Vaatimuslistan luomisen apuna olivat Juha Liikanen ja Kari Juppi. Toimeksiantaja halusi nykyisten pesureiden imuletkun tilalle samankokoisen mutta kestävämmän vaihtoehdon ja uusiin valmistettaviin pesureihin suuremmalla halkaisijalla olevan imuletkun. Suuremmalla halkaisijalla oleva imuletku tarvitsi myös uuden energiansiirtoketjun. Tämän jälkeen alkoivat mahdollisten teolli-

suusletkujen ja energiansiirtoketjujen toimittajien valinnat. Komponenttientoimittajat valittiin toimeksiantajan antamista yhteystiedoista ja verkkoetsinnän perusteella. Toimittajien yhteydenottamisen jälkeen järjestettiin palaverit. Toimittajat antoivat omat ehdotuksensa mahdollisesta komponenttivaihtoehdosta näiden palaverien jälkeen. Ehdotukset järjestettiin vaatimuslistan avulla tehtyyn kriteeritaulukkoon. Toimeksiantajalle ehdotettiin kriteeritaulukon mukaiset parhaimmat vaihtoehdot.

4 Pesurin toimintaympäristö

4.1 Paperikone

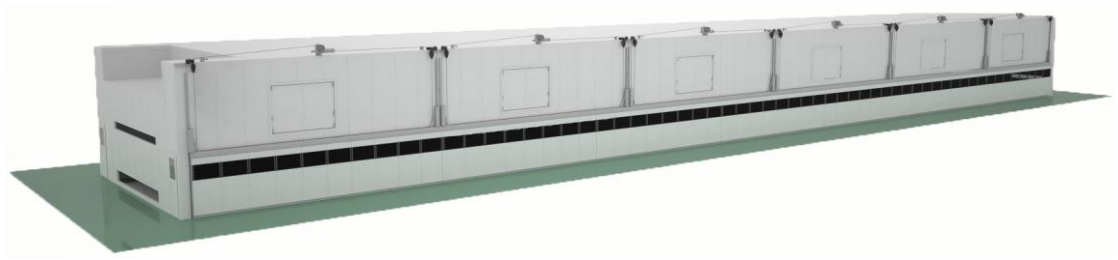
Paperin valmistuksessa raaka-ainekoostumuksella määritetään halutun paperin tai kartongin ominaisuudet, koska paperi- ja kartonkilajit vaativat tietyn kuitukoostumuksen, täyteaineen, liimauksen ja lisäaineet. Esimerkiksi ulkopakkauskartongilta vaaditaan tarpeeksi hyviä lujuusominaisuuksia tuotteen suojaamiseksi, kun taas aikauspaperilta edellytetään hyviä painatusominaisuuksia. (Hägglom-Ahnger 2003, 14-15.)

Paperikoneen pääosat ovat perälaatikko, viiraosa, puristinosa ja kuivatusosa. Prosessi lähtee käyntiin perälaatikolta, jonka tehtävä on syöttää sulppua eli laimeaa kuituseosta mahdollisimman tasaisesti viiraosalle. Viiraosan tarkoituksena on poistaa yli 95 % vettä perälaatikosta tulevasta sulpusta. Veden poisto tapahtuu suotautumalla. Viiraosalta raina kulkee puristinosalle, jossa nostetaan rainan kuiva-ainepitoisuutta ja muokataan rakennetta niin, että kuidut sitoutuvat toisiinsa tiukemmin. Puristusosalta paperiraina johdetaan kuivatusosalle, jonka päätehtävänä on haihduttaa vettä tuomalla rainaan lämpöä. Kuivatusosalla voi olla myös päällystysasemia tai liimapuristimia. Viimeisenä prosessissa on rullain, jonka tehtävänä on rullata paperi tampuriraudan ympärille suureksi konerullaksi. (Hägglom-Ahnger 2003, 15-16.)

4.2 Huuva

Nykyään kaikissa uusissa paperi- ja kartonkikoneissa kuivatusosa on eristetty suljetun huuvan (ks. kuvio 1) avulla. Huuvan avulla saavutetaan suuria etuja ilmanvirtausten ja kuivauksen hallinnan kannalta, mikä parantaa myös energiatehokkuutta. Kokonaan suljetun huuvan avulla saavutetaan seuraavia hyötyjä:

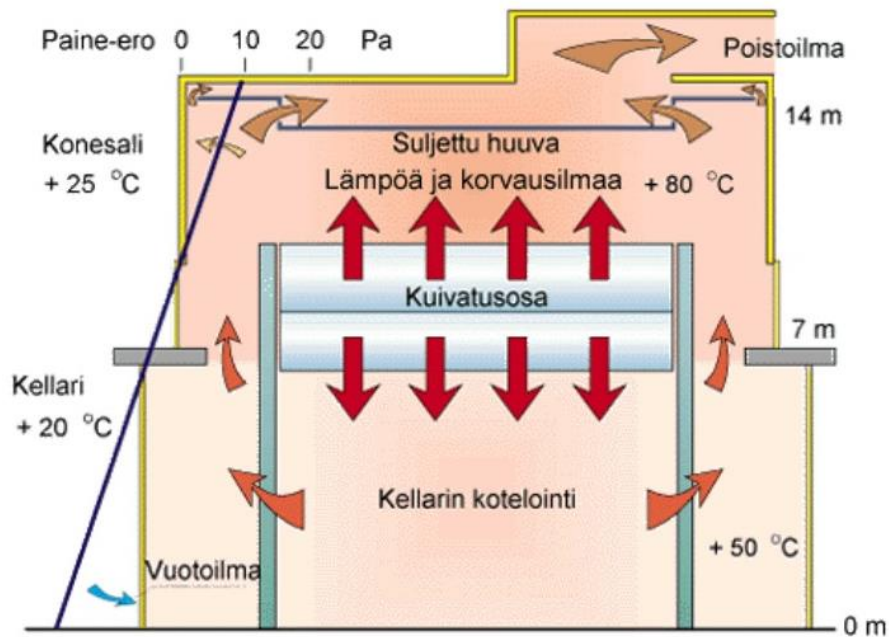
- Koneen ulkopuoliset ilmavirtaukset saadaan eristettyä pois, mikä parantaa paperin kuivatusolosuhteita.
- Huuva minimoi lämpöhäviö määrää, mikä vähentää lämpöenergian kulutusta.
- Huuva estää ilman kosteuden leviämistä konesaliin, mikä voi aiheuttaa korroosiota ja heikentymistä rakenteissa. (Karlsson 2010, 25-26, 438-440.)



Kuvio 1. Paperikoneen huuva (Valmet sisäinen materiaali.)

Huuvan ilmastoinnin tehtävänä on poistaa kuivatuksessa syntyvä vesihöyry ja tuoda huuvan sisään lämmintä ja kuivaa ilmaa. Tyypillisen paperikoneen poistoilman lämpötila on noin 80-90 °C. Lämpötilat voivat olla suurempia kartonkikoneissa. (Karlsson 210, 439-444.)

Huuva sisäiset lämpötilat kasvavat (ks. kuvio 2) huomattavasti sen korkeuden mukaan, koska ilman lämmitessä sen tiheys pienenee ja lämmennyt ilma pyrkii ylöspäin. Tämän seurauksen huuvan yläosassa olevat komponentit ovat suuremmassa rasituksessa.



Kuvio 2. Huuvan sisäiset lämpötilat tyypillisessä paperikoneessa (Paperiteknikan ja automaation oppimisympäristö 2020)

4.3 Kuivatusviirat

Paperikoneen kuivatusosalla kuivatusviirujen päätehtävä on kuljettaa ja tukea paperirataa ja varmistaa paperin tehokas ja tasainen kuivatus. Viiran ominaisuudet vaikuttavat paljon paperin kuivatuksen tehokkuuteen ja paperiradan hallintaan. Kuivatusviira välittää myös voimaa sylintereille ja teloille, joissa ei ole muuta voimalähdettä. (Fagerholm 2010, 544.)

Kuivatusviirujen tärkeimpiä vaatimuksia ovat sopiva ilmanläpäisy, hyvä ajettavuus, markkeerattomuus, avonaisuuden säilyttäminen ja oikea saumatyyppi. Tehostaakseen kuivatusprosessia, ilmanläpäisykykyyn täytyy olla hyvä ja rakenteen sopiva. Tällä saadaan aikaan sopiva ilmasapaino kuivatusosan ilmataskuissa. Kuivatusviirujen suurempi ilmanläpäisykyky parantaa kuivatusosan toimintaa ja tehostaa taskujen tuuletusta, mutta saattaa johtaa paperiradan lepatukseen. Lepatuksen herkkyys riippuu paperin kuivatusaineista, taskujen ilmasapainosta, konenopeudesta ja kuivatusosan geometriasta. (Fagerholm 2010, 551.)

Säilyttääkseen hyvän paperin laadun, on paperiradan ja viiran välisen kontaktin pysyttävä häiriöttömänä ja tasaisena, eikä viiran sauma saa jättää jälkeä paperiin. Näihin asioihin pystyy vaikuttamaan esimerkiksi viiran saumatyyppin valinnalla. Kuivatusviiroja valittaessa, on löydettävä tasapaino viiran ominaisuuksissa, jotta ajettavuus säilyy hyvänä ja käyttöikä pysyy mahdollisimman pitkänä. (Fagerholm 2010, 545.)

4.4 Kuivatusviirojen likaantuminen

Kuivatusviirojen puhtaudella vaikutetaan suoraan paperin laatuun ja paperiradan ajettavuuteen. Kuivatusviirat likaantuvat eniten kierrätyskuituja käyttäessä, sillä kierrätyskuidut sisältävät usein hienoaineita ja tahmaa, mitkä tukkivat viirassa olevat pienet reiät. Likaantunut kuivatusviira aiheuttaa suurempaa höyrynkulutusta, prosessikatkoja ja tuotannon hyötysuhteen laskua. (Dryer fabrics 2014, 2.)

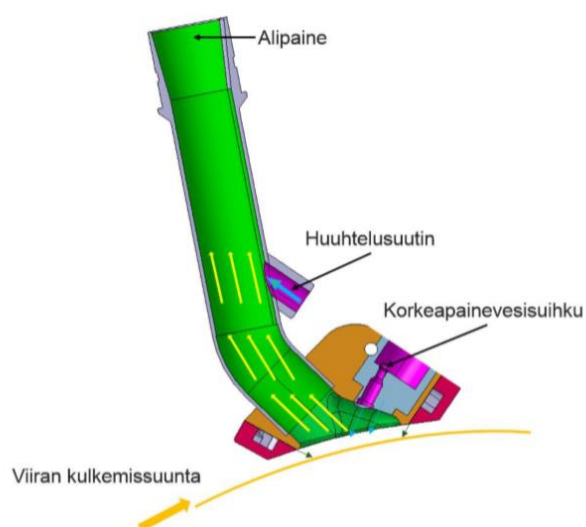
Kuivatusviiran likaantuminen huonontaa viiran ilmanläpäisykykyä, joka aiheuttaa paperiradan ja viiran välisen epätasaisen kontaktin. Tästä seuraa ongelmia viiran ajettavuudessa, varsinkin paperiradan reuna-alueilla. Viiraan paikoittain kertynyt lika aiheuttaa epätasaisen ilmanläpäisykyvyn koneen poikkisuunnassa, minkä seurauksena tulee kosteusvaihteluita, joka puolestaan voi aiheuttaa märkiä kohtia paperirataan. Kuivatusviiroihin kertynyt lika kasvattaa myös riskiä paperin merkkeämiselle, sillä erittäin likaantunut viira voi jättää jälkensä paperiin. Likaantunut viira saattaa myös tukkia imuteloja. (Fagerholm 2010, 569; Valmetin sisäinen materiaali.)

Viirojen pesutapaan vaikuttavat likaantuneen alueen laajuus, likatyyppi sekä onko kone tuotannossa vai ei. Paineilmalla pystytään poistamaan irtopartikkelit, kuten laajin osa massakuiduista ja epäorgaanisista partikkeleista. Tehokkaampia pesutapoja viiran pesuun ovat korkeapainevesi ja höyry. Höyryn käyttö saattaa kuitenkin vahingoittaa viiraa, koska höyryn lämpötila on korkea. Matalalla paineella suihkutettu kuuma vesi saattaa vapauttaa suuria määriä päällystekemikaaleja. Kuuma vesi puhdistaa hyvin monia orgaanisia epäpuhtauksia, vaikka eivät ole vesiliukoisia. Tämä johtuu lämpötilan vaikutuksesta epäpuhtauksiin, joka saa niistä juoksevia ja tällöin ne irtoavat helpommin viirasta. (Valmetin sisäinen materiaali.)

Yleensä kuivatusviirat on puhdistettu kemiallisesti paperikoneen seisokkien aikana, mikä on aikaa vievää. (Dryer fabrics 2014, 2.) Nykyään on huomattu viirojen tarvitsevan jatkuvaa pesua ajon aikana. Ajonaikaisella pesulla varmistetaan viiran ominaisuuksien ylläpito mahdollisimman pitkään ja parannetaan viiran käyttöikää huomattavasti. Nykyään ajonaikaiset pesurit käyttävät korkeapainevettä viirojen pesemiseen, koska sillä saavutetaan parhain pesutulos. (Valmet sisäinen materiaali.)

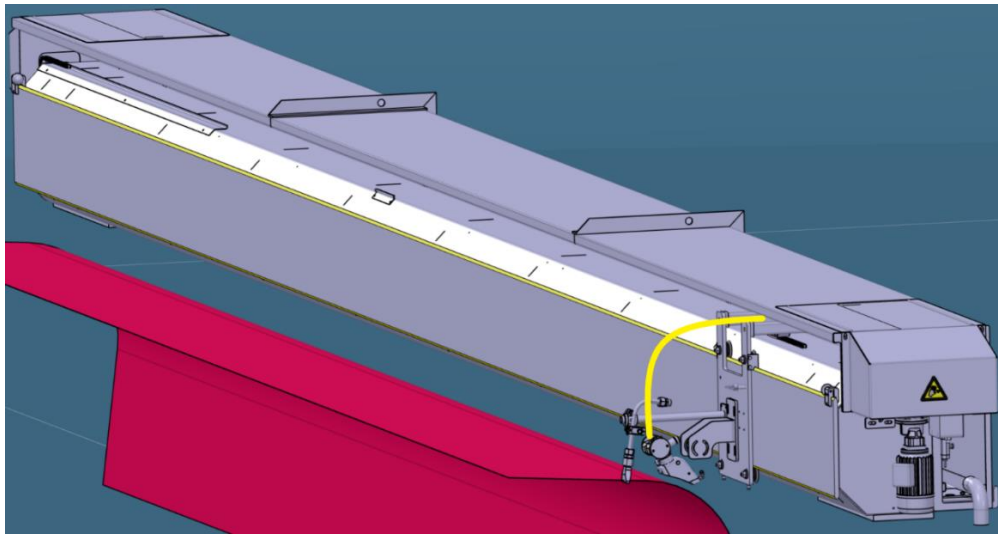
4.5 Pesuri

Viiranpesurin tehtävänä on puhdistaa viiraa paperikoneen ajon aikana. Tällä nostetaan tuotantokapasiteettia, sillä ajonaikainen puhdistaminen tehostaa kuivatusviirujen toimintaa ja vähentää katkoja. (Valmetin sisäinen materiaali.) Viiranpesurin liikenopeus vaihtelee paperikoneesta riippuen, koska sen nopeus synkronoidaan koneen nopeuden kanssa. Kuivatusviiran pesuun käytetään korkeapainevesisuihkuja, jotka saadaan aikaan erillisillä neulasuuttimilla. Suuttimet kohdistetaan telaa vasten, jotta vesi ja lika saadaan kimmoitettua telan pinnan kautta pois viirasta. Kuviossa 3 on esitetty pesupään pääpiirteet. Yleisin käytössä oleva suutin on 0,2 mm neulasuutin ja pesupaine vaihtelee 300 ja 600 bar välillä. Irrotettu lika ja suihkutettu vesi imetään pesupään kautta vakuumijärjestelmän avulla. (Valmet sisäinen materiaali.)



Kuvio 3. Viirapesurin pesupään leikkauskuva (Valmet sisäinen materiaali.)

Viirapesuri asennetaan yleensä kulmatelan tai kiristintelan yhteyteen. Ohjeen mukaan pesupää tulee sijoittaa telan yläpuolelle 4-7 mm päähän viirasta. Viirapesurin käyttöön vaikuttaa seuraavat tekijät: telan halkaisija, asennussijainti ja konenopeus. Nämä tekijät vaihtelevat paljon projektien välillä, mikä hankaloittaa laitteen asennusta. Kuviosta 4 näkee pesurin ulkoisen rakenteen ja keltaisella viivalla on merkitty imuletkun kulkureitti. (Valmet sisäinen materiaali.)



Kuvio 4. 3D-malli kuivatusviiran pesurista (Valmet sisäinen materiaali.)

5 Teollisuusletku

5.1 Kumi materiaalina

Kumi on elastinen materiaali, joka pystyy venymään kaksinkertaiseksi alkuperäisen pituuteen nähden ja kykenee palautumaan alkuperäiseen mittaan nopeasti. Kumille mustan värin antaa sen tärkein lisäaine hiili, joka lisää myös kumin ultraviolettisäteilyn kesto. Kumi valmistetaan vulkanoimalla. Vulkanointi on kumin valmistusprosessin osa, jossa rikki ja raakakumin molekyylit silloitetaan lämmön avulla toisiinsa, muodostaen kemiallisen sidoksen. (Sorsa 2015, 217.) Prosessi alkaa, kun muovailtavaan ja plastiseen kumimassaan lisätään katalyyttiä, lisä- ja apuaineita, minkä seurauksena

seos alkaa vulkanoitumaan itsenäisesti. Koska vulkanointi on kemiallinen reaktio, sitä pystyy nopeuttamaan lämpötilan nostamisella. Kumin laadusta riippuen vulkanointiprosessin lämpötila vaihtelee 150-250 asteen välillä. Vulkanointiaika ja lämpötila määrittävät kumin halutut ominaisuudet, kuten kimmoisuuden, kovuuden, venyvyyden, vetolujuuden ja repimislujuuden. Jos kumin vulkanointiprosessia pidentää sen optimaalisesta ajasta, kumin ominaisuudet alkavat heikentymään, esimerkiksi kumi alkaa kovettumaan. (Laurila 2007.)

Kumit jaetaan yleiskumeihin ja erikoiskumeihin niiden ominaisuuksien perusteella. Yleiskumit ovat käytetyimpiä kumilajeja, koska ne ovat edullisia ja kestävät hyvin mekaanista rasitusta. Yleiskumeista valmistetaan kulutustuotteita, kuten autorenkaita, jalkineita ja tiivisteitä. Erikoiskumeilla tarkoitetaan kumia, jolla on jotain luonnon kumeista poikkeavia ominaisuuksia, kuten sään-, öljyn-, otsonin-, lämmön- tai bensii- ninkesto. Erikoiskumien käyttökohteita ovat esimerkiksi suojavaatteet, teollisuusletkut tai lämmönkestävät eristeet. (Sorsa 2015, 218-219.)

5.2 Teollisuusletkun rakenne

Teollisuusletkuja käytetään kolmeen käyttötarkoitukseen:

- Pää tarkoituksena nesteiden, kaasujen, kiinteän materiaalin ja näiden sekoituksen kuljettamiseen
- joustavana yhteytenä paineaaltojen ja värinän vaimentamiseksi
- osana suojelemaan muita letkuja, putkia, kaapeleita tai johtoja. (Technical basics for industrial hose 2012.)

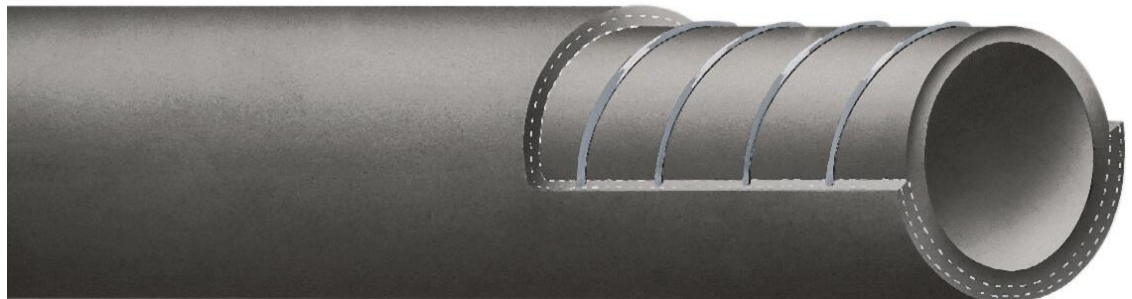
Teollisuusletku jakautuu rakenteeltaan kolmeen osaan, jotka ovat sisäputki, vahviste ja päällyste. Sisäputki voi olla materiaaliltaan kumia tai muovia ja sen tarkoituksena on kestää materiaalit, joita letkulla kuljetetaan. Kumi- tai muoviyhdisteiden ja sisäputken paksuus määräytyy teollisuusletkun käyttötarkoituksesta. Vahviste voi olla materiaaliltaan muovia, metallia tai tekstiiliä. Näitä materiaaleja voi yhdistää tai pitää yksittäisinä, jotta saadaan letkun runko kestämään sisäiset ja ulkoiset voimat tai pai-

neet. Päälystemateriaalit voivat olla kumia, metallia, muovia tai tekstiiliä. Päälysteen tehtävän on suojella vahvistetta ympäristöltä ja vaurioilta. (Technical basics for industrial hose 2012.)

Teollisuusletku valmistetaan vaihe vaiheelta seuraavalla tavalla:

- Kumi arkki kääritään teräskaran ympärille, näin syntyy sisäputki.
- Vahvikekerros kääritään sisäputken ympärille.
- Suojakerros kääritään vahvikekerroksen ympärille.
- Letku valmistellaan vulkanointia varten käärimällä se tekstiilikääreeseen.
- Letku vulkanoidaan uunissa.
- Tekstiilikääre poistetaan.
- Letku irrotetaan teräkarasta.
- Letkun päät leikataan.
- Letku rullataan ja paketoidaan. (Technical basics for industrial hose 2012.)

Matalapaineletkut ovat suosittuja valintoja savun, ilman, nesteiden, pölyn ja pienten hiukkasten kuljettamiseen tai imemiseen. Matalapaineletkuilta vaaditaan tiettyjä ominaisuuksia, jotta ne pystyvät toimimaan suunnitellulla tavalla. Yksi näistä ominaisuuksista on alipaineen kestäminen, koska alipaine pyrkii vetämään letkua kasaan. Jotta tämä ehkäistään, letkuihin on suunniteltu teräs- tai muovilankavahvistus, joka tulee kierteelle letkun rakenteen sisään (ks. kuvio 5), ja kasvattaa letkun itsenäistä rakenteellista tuentaa. (Vacuum Hose n.d.)



Kuvio 5. Matalapaineletku Carboflex GR (Kailatec Oy 2020)

5.3 Paine

Paine kuvaa pinta-alaan kohdistuvaa voimaa. SI-järjestelmässä paine ilmoitetaan yksiköllä pascal: $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$. (SI-mittayksikköjärjestelmä 2002, 17.)

SI oppaassa (2002) kerrotaan paineesta näin: *”Yleisempänä yksikkönä paineelle on baari, bar (=100 kPa), kun ilmoitetaan nesteen tai kaasun painetta. Kyseessä ollessa yli- tai alipainetta, tämä ilmaistaan suureen nimen tai sen tunnuksen p yhteydessä. Ylipaine voidaan ilmaista esimerkiksi käyttämällä suureen tunnuksesta p alaindeksiä e. Indeksillä e on peräisin englanninkielisestä sanasta excess. Alipaine ilmaistaan vastakkaismerkkinä ylipaineelle. Esimerkki: $p_e = 0,05 \text{ MPa}$ tarkoittaa ylipainetta, vastaavasti $p_e = -0,05 \text{ MPa}$ alipainetta. Yli- tai alipaine voidaan ilmoittaa myös seuraavasti: ylipaine on $0,05 \text{ MPa}$, alipaine on $0,05 \text{ MPa}$ ”. Alipaineella tarkoitetaan jonkun kohteen paineen olevan pienempi ilmakehän paineeseen nähden.*

5.4 Äärimmäisen ympäristön materiaalit

Teollisuusletkut äärimmäisissä ympäristöissä tarvitsevat tiettyjä materiaaleja sen kestämiseen. Paperikoneen huuuvan olosuhteisiin suositeltavimmat vaihtoehdot ovat EPDM-kumi ja teflon. EPDM-kumi on valmistettu propeenin-, eteenin- ja dieeninimonomeereista, joissa eteeni-propeenikumien hiilivetyketjuista puuttuvat kaksoissidokset. Tämän seurauksena EPDM-kumi kestää erinomaisesti säätä ja otsonia. Lisäksi tämä kumi kestää hyvin kuumaa vettä ja höyryä, sekä heikkoja emäksiä ja happoja. Normaalin EPDM-kumin käyttölämpötila on $-50 \dots +150 \text{ °C}$ välillä, mutta pitkäaikainen käyttösuositus on maksimissaan $+80 \text{ °C}$. EPDM sietää myös estereitä ja ketoneita, mutta heikkoutena ovat polttoaineet ja mineraaliöljyt, minkä kontaktin seurauksena kumi turpoaa voimakkaasti. (EPDM – eteeni-propeenikumi n.d.)

Polytetrafluorieteenin (PTFE) eli teflonin ominaisuuksia on erinomainen sähköeriste, laaja lämpötilankestävyys ja matala kitka. Teflon kestää jatkuvaa $-200 \dots +260 \text{ °C}$ välillä olevaa lämpötilaa ja hetkittäisesti myös $+360 \text{ °C}$. Tefloni ei ole termoplastinen materiaali, joten sitä ei pysty sulattamaan tai polttamaan, myös aineen hitsaus ja liimaus on

vaikeaa. Tefloni ei heikenny otsonin, ajan, hapen tai UV-valon vaikutuksesta. (Letkut ja paineosat ammattitaidolla 2011.)

6 Yleisohjeet energiansiirtoketjulle

Energiansiirtoketju (ks. kuvio 6) tunnetaan englannin kielessä monella eri nimellä, kuten cable carrier, drag chain, energy chain ja cable chain riippuen valmistajasta. Energiansiirtoketjuja käytetään yleensä liikkuvissa koneissa, jossa tarvitaan joustavien sähkökaapelien, hydraulii- ja pneumatiikkaletkujen turvallista ohjaamista. Energiansiirtoketju vähentää kaapeleiden ja letkujen kulumista ja rasitusta, kuten myös parantaa käyttäjän turvallisuutta ja estää kaapeleiden takertumista. Energiansiirtoketjun käyttökohteita ovat paikat, missä on vaaka-, pystysuuntaista, kiertyvää ja kolmiulotteista liikettä. (Ciringione 2010.)



Kuvio 6. Esimerkki energiansiirtoketjusta (Energy chain 2020)

Ensimmäiset energiansiirtoketjut tuotiin markkinoille 1950-luvulla, jolloin käytettiin rakennusmateriaalina terästä. Vuonna 1971 valmistettiin ensimmäinen kestopuovinen energiansiirtoketju, joka tehtiin polypropanista ruiskuvalulla. (Ciringione 2010.) Energiansiirtoketjujen materiaalivalinnoissa mietitään ensisijaisesti käyttökohteen

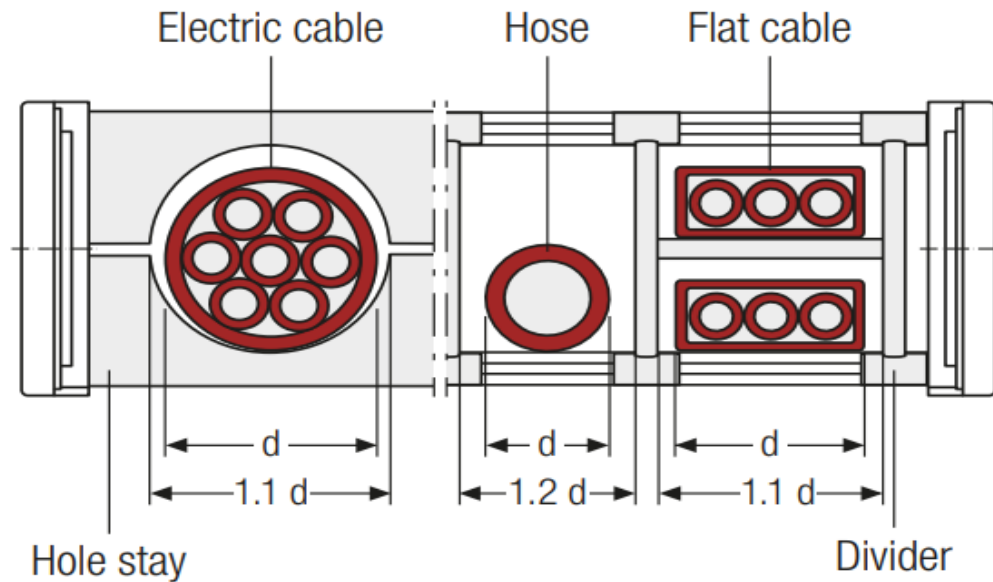
ympäristöä. Kestomuovia suositetaan enemmän inhimillisissä käyttöympäristöissä, kun taas teräksiset energiansiirtoketjut on suunniteltu raskaisiin olosuhteisiin, kuten jos on kyseessä altistuminen hapoille tai radioaktiiviselle säteilylle tai ympäristö on erittäin kuuma tai kylmä. Teräksinen energiansiirtoketju pystyy toimimaan jatkuvasti, jopa $-80...+550\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa. Materiaalivalintaan vaikuttaa myös energiansiirtoketjulta vaadittava työsyklin nopeus ja syklimäärä. Kestomuovia suositellaan enemmän, jos nopeus ylittää 2 m/s tai työsyklien määrä ylittää miljoonan. Muissa tapauksissa teräksinen energiansiirtoketju on varmempi vaihtoehto kestävyuden puolesta. (Cable carrier configuration n.d.)

Tsubaki Kabelschlepp energiansiirtoketjujen teknisestä tiedotteesta löytyy suositus, millainen ruostumaton teräs soveltuu mihinkin ympäristöön:

- Galvanoitua ja karkaistua terästä suositellaan käytettävän paikoissa, joissa ei vaadita erityistä korroosiosuojaa, kuten yleiskoneissa ja -laitteissa, myös korvaamaan kesto-muovi energiansiirtoketjut, joissa ne eivät ole sallittuja kuormitettavuutensa, venymänsä, joustavuutensa ja ympäristöolosuhteidensa puolesta (nivellevyt, kanavaosat, liitoselementit, liitännät jne.)
- Ruostumatonta terästä, kuten 1.4301; AISI304 käytetään samoissa paikoissa kuin galvanoitua terästä, mutta siltä vaaditaan korroosiosuojausta
- Ruostumatonta terästä, kuten 1.4571; 1.4404; AISI316Ti; AISI316L käytetään samoissa paikoissa kuin galvanoitua terästä, mutta siltä vaaditaan erityistä soveltuvuutta suolapitoisiin ympäristöihin
- Ruostumaton teräs, kuten 1.4462; 318LN käytetään paikoissa, jossa vaaditaan suurta kestävyyttä, kuten kemikaali- ja petrokemikaaliteollisuudessa, tekstiiliteollisuudessa, sellun tuotannossa, väriaine- ja maalliteollisuudessa, kumiteollisuudessa ja laivanrakennuksessa. (Cable carrier configuration n.d.)

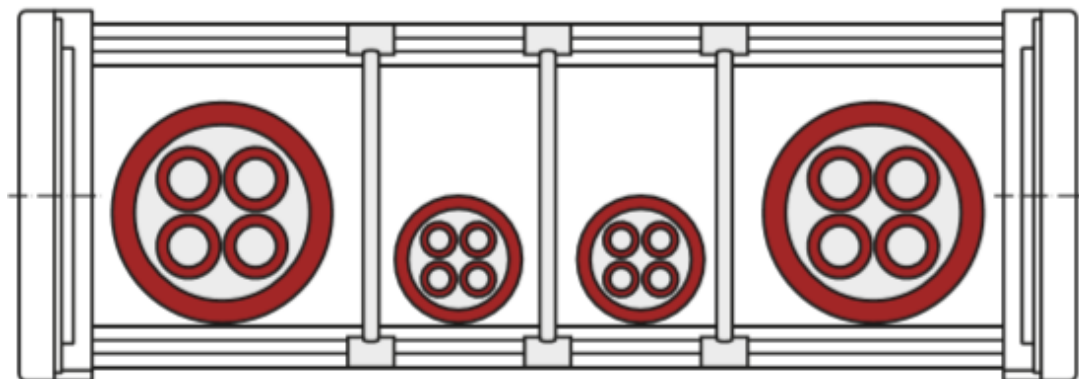
Yleisohjeiden mukaan kaapeleille ja letkuille ohjeistetaan jättämään ylimääräistä tilaa ympärille, jotta varmistetaan näiden vapaa liikkuvuus. Kaapeleille ylimääräisen tilan suositus on 10 %, matalapaineletkuille 10-20 % ja paineletkuille 20 %. Kaapeleiden ollessa eri pintamateriaaleja, niitä suositellaan erottamaan jakajalla toisistaan. Kuvi-ossa 7 on esimerkki näistä suosituksista. Sisälle laitettavan letkun taivutussäde täytyy

olla sama tai vähemmän kuin energiansiirtoketjun taivutussäde, jotta letku ei painaudu energiansiirtoketjun ulkoreunaan. Näillä ohjeilla vähennetään kaapelien pintaan syntyvää kitkaa, joka pidentää niiden käyttöikää. (Cable carrier configuration n.d.)



Kuvio 7. Kaapelien asennussuositukset (Cable carrier configuration n.d.)

Painojakaumaa suositellaan kaapelien ja letkujen sijoittamista siten, että paino on jaettu symmetrisesti energiansiirtoketjun leveyden mukaan. Kuviossa 8 näkyy hyvin tehty painojakauma. Symmetrinen asennus suojaa energiansiirtoketjua vääntelyltä, joka saattaa kuluttaa ketjua toispuoleisesti. (Cable carrier configuration n.d.)

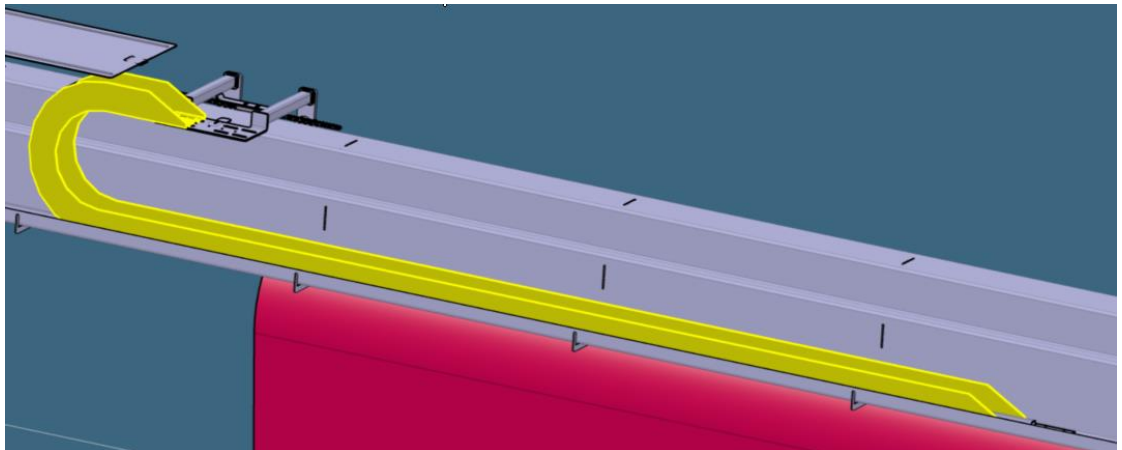


Kuvio 8. Energiansiirtoketjun painojakaumasuositukset (Cable carrier configuration n.d.)

7 Nykyiset komponentit

7.1 Energiansiirtoketju

Nykyiset energiansiirtoketjut ovat valmistettu pesuria varten eli nykyinen valmistaja kehittää ja suunnittelee ne. Materiaali on Valmetin suositusten mukaan ruostumattonta terästä EN 1.403. Tämä materiaali kestää huuuvan kostean ja kuuman ympäristön. Tilaa energiansiirtoketjulle on rajallisesti, koska se sijaitsee pesurin runkopalkin sisässä. Pituus on paperikonekohtaista, koska paperikoneita valmistetaan monen eri levyisinä. Ketju on yleensä puolet paperikoneen leveydestä, koska se kiinnitetään keskelle pesurin runkopalkkia, jotta energiansiirtoketju kattaa koko koneen leveyden. Ketju on itsestään kantava, koska pesurin runkopalkin sisään ei pysty sijoittamaan kannatusrullia. Kuvio 9 näkee, kuinka energiansiirtoketju on sijoitettu runkopalkin sisällä.



Kuvio 9. Energiansiirtoketju pesurissa (Valmet sisäinen materiaali)

7.2 Imuletku ja sen ongelmat

Nykyisissä kuivatusviiran pesureissa käytetään normaalitilanteissa yhtä letkumallia, rankoissa olosuhteissa teflon vaihtoehtoa ja joissakin projekteissa on kokeiltu toisenlaisia letkuja. Vakioletku on Teknikum Oy:n valmistama RV73535-letku, joka on räätälöity tätä pesuria varten. Tämä letku koostuu EPDM-kumista, jonka sisään on sijoitettu teräslankaa, joka tekee letkusta huomattavan jäykän. Letkun lämpötilankestoksi on ilmoitettu 100 °C ja hetkelliseksi lämpötilankestoksi 120 °C.



Kuvio 10. RV73535-letkun alkuvaurio (Valmet sisäinen materiaali)

Kuviosta 10 näkyy kuinka letku vaurio alkaa kehittymään. Vauriokohtaa tutkiessa huomaa puolan olevan kontaktissa letkun pintaan, mutta kuitenkin puolan kontakti ei ole aiheuttanut suurta vahinkoa pintarakenteeseen. Juha Liikasen (2020) mukaan letkuja vaihdettaessa on huomattu letkun kovettuneen osittain. Niistä kohdista, joissa letkuun ei tule mitään liikettä, joutuu letkun sahaamaan poikki, koska kumi on

muuttunut niin kovaksi, ettei siinä ole mitään elastisia ominaisuuksia jäljellä. (Liikainen 2020.)



Kuvio 11. RV73535-letku hajonneena (Valmet sisäinen materiaali)

Kuviosta 11 näkee letkun vaurioituneen ainoastaan puolien kohdalta. Kuviosta huomaa myös letkun olevan painautuneena energiansiirtoketjun ulkoreunaan. Tämä tapahtuu, kun letkun minimitaivutussäde on liian suuri energiansiirtoketjun sisään.

Yksi kokeiluletkuista oli Trelleborgin tekemä AG 1000 HT, jonka valmistaja on suunnitellut pääsääntöisesti pakokaasun ja muiden kuumien kaasujen imuletkuksi. Ominaisuuksiltaan letku on kevyt, taipuisa ja sisältä sileä. Letkua valmistetaan polyesterikierteellä, mutta letkua saa myös teräskierteellä. Ilmoitettu lämmönkesto on $-40...+180$ °C, eikä hetkellistä lämpötilan kestoa ole ilmoitettu. Tälle 2 tuuman letkulle taivutussäde on 65 mm. Havaittuna ongelmana tälle letkulle oli kierteen irtoaminen letkun pinnasta (ks. kuvio 12), jonka seurauksena letku pääsee luhistumaan kasaan alipaineen voimasta.



Kuvio 12. AG 1000 HT -letkun vaurio (Valmet sisäinen materiaali)

Kuviosta 12 myös huomaa sisäletkun olevan ehjänä, joten suurin ongelma kohdistuu kierteen irtoamiseen sisäletkusta. Todennäköisintä syytä kierteen rikkoutumiselle oletetaan lämpötilan lisäksi energiansiirtoketjun puolaa, joka pienen koon vuoksi pääsee kierteiden väliin. Pesurin tehdessä työsykliään, puola ajautuu kierteitä vasten aiheuttaen niihin rasitusta. Kuviosta 13 näkee selkeästi kierteiden irtoamisen tapahtuvan vain puolakohdista. Tästä voi päätellä letkun ulkomuodon tärkeyden, joka on suositeltavasti sileä.



Kuvio 13. AG 1000 HT -letku energiansiirtoketjun sisällä (Valmet sisäinen materiaali)

Rankkojen olosuhteiden letku, mitä käytetään kuivatusviiran pesureissa, on teräspunospäällysteinen teflonletku. Vuonna 2010 letkua sai vain 6 metrin pituisina, jolloin se liitettiin suoraan energiansiirtoketjun päähän. Tämä hankaloitti huoltoprosessia, jonka takia tästä mallista luovuttiin. Nykyään tätä letkua saa pitempänä ja sitä käytetään sen ominaisuuksien vuoksi. Letkulle on ilmoitettu käyttölämpötilaksi -54...204 °C ja teräspunospäällyste kestää hyvin hankausta tai muita voimia. Tätä letkua käytetään niissä tilanteissa, kun halutaan varmistaa pesurin toiminta. Letkun käyttöikä on erittäin pitkä, sillä joissakin pesureissa se on kestänyt 3 vuotta (Liikanen 2020). Letkun huonoina puolina on, että se täytyy tilata oikean mittaisena paikanpäälle ja letkun päihin tulee isot liittimet, jotka vaikeuttavat letkun asennusta paikalleen.

8 Vaatimuslista

Vaatimuslistan tarkoituksena oli asettaa tietyt kriteerit, mitä energiansiirtoketju- ja imuletkuvalinnoissa täytyi noudattaa. Kehitystyö aloitettiin luomalla vaatimuslista, jota käytettiin apuna toimittajien haastatteluissa. Vaatimuslistoissa käytetään kolmenlaisia vaatimuksia:

- Kiinteävaatimus: vaatimus täytyy toteuttaa kaikissa tilanteissa tai ratkaisua ei voida hyväksyä
- Vähimmäisvaatimus: vaatimus, joka tulee ylittää ja reilu ylittäminen on toivottua
- Toivomus: otetaan huomioon mahdollisuuksien mukaan.

Laaditussa vaatimuslistassa (ks. taulukko 1) käydään läpi tärkeimmät asiat, mitä kehitystyön alussa energiansiirtoketjulta ja imuletkulta oli haluttu. Lähtökohtaisesti energiansiirtoketjun ja imuletkun vaatimukset ovat samanlaisia, koska ne ovat samassa ympäristössä ja tekevät samaa liikettä. Komponenttien valinnoissa pyritään noudattamaan vaatimuslistan kriteerejä.

Taulukko 1. Energiansiirtoketjun ja imuletkun vaatimuslista

Vaatimuslista kuivatusviiran pesurin energiansiirtoketjulle ja imuletkulle			
Muutos päivämäärä	Vaatimusluokat: Kiinteävaatimus, vähimmäisvaatimus ja toive	Vaatimus	Muistiinpanot
		Energiansiirtoketju	
	KV	Sisälle mahtuu 2,5 tuuman teollisuusletku	
	VV	Rakenteeltaan itsestään kannatteleva	
	VV	Materiaalilta ruostumatonta terästä	
	KV	Kestää jatkuvaa liikettä	
6.5.2020	VV	Kestää paperi- ja kartonkikoneen huuuvan olosuhteita	Lämpötila, kosteus, mahdolliset kemikaalit
	VV	Mahtuu liikkumaan pesurin runkopalkin sisällä	
	KV	Kontaktikohdat aiheuttavat mahdollisimman vähän rasitusta letkulle	
		Imuletku	
6.5.2020	KV	Vanhoihin pesureihin 50 mm tai 2" ja uusiin pesureihin noin 2,5" sisähalkaisija	
	VV	Käyttöikä yhden vuoden	
	VV	Ei kerää likaa/mahdollisimman tasainen sisäpintaan	
6.5.2020	VV	min. taivutussäteen oltava pienempi tai sama kuin käytettävän energiansiirtoketjun taivutussäde	
6.5.2020	VV	Kestää paperi- ja kartonkikoneen huuuvan olosuhteita	Lämpötila, kosteus, mahdolliset kemikaalit
	VV	Kestää jatkuvaa taivutusrasitusta	
	VV	Kestää vähintään 15 Kpa alipaineen	
	VV	Ulkopinta kestää hankausta	

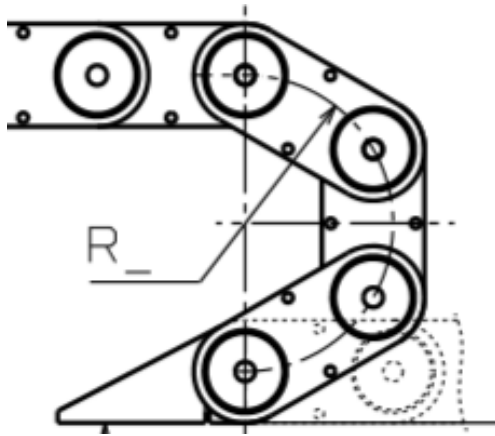
Vaatimuslistalla energiansiirtoketjulle oli mainittu vähimmäisvaatimuksena, että materiaalin täytyy olla ruostumatonta terästä. Tämä oli toimeksiantajan oma kanta asiaan, koska pinnoitetut tai muunlaiset metallit eivät kestäisi huuuvan olosuhteita pitkään. Kilpailijoilla käytetään muovisia energiansiirtoketjuja, mutta niiden ongelmana on ennenaikainen hajoaminen, joka aiheuttaa enemmän ongelmia kuin pelkkä imuletkun hajoaminen. (Liikanen 2020.) Imuletkulle asetettu vähimmäisvaatimus ”käyttöikä yhden vuoden” oli hankala saada selville pelkillä letkun ominaisuustiedoilla. Tätä vaatimusta varten täytyisi tehdä testejä, jotta käyttöiän pituus varmistuisi. Tällaiset testit pystytään tekemään ainoastaan laittamalla letku pesuriin, jotta saisi luo-

tettavimman tiedon käyttöiästä. Imuletkun sisäpinnan sileydellä haettiin mahdollisimman pientä mahdollisuutta lian tarttumiselle sisäseiniin. Joissakin tapauksissa kuivatusviirroista irronnut lika tukkii imuletkun täysin, jos letkun sisäpinta epätasainen. (Liikanen 2020.) Tämä on erittäin yleinen ilmiö, jota pyritään estämään pesurin pesupäästä (ks. kuvio 2) syötettävällä laimennusvedellä.

9 Palaverit komponenttitoimittajien kanssa

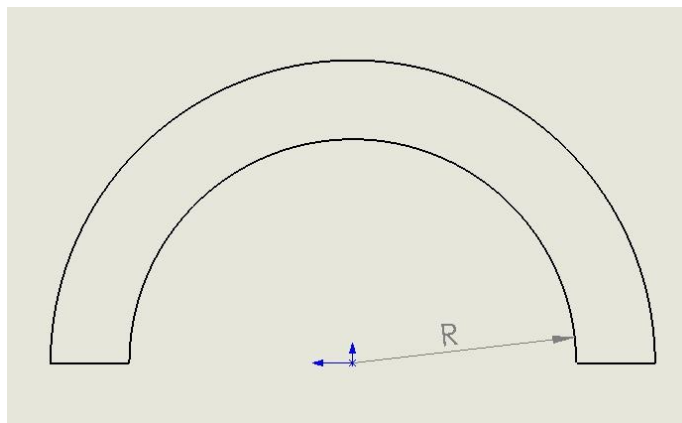
Kehitystyötä varten valittiin viisi teollisuusletkun ja viisi energiansiirtoketjun toimittaja. Teollisuusletkua toimittavat yritykset olivat Parker Oy, Dunlop hiflex Oy, Nestepaine Oy, Teknikum Oy ja Fluiconnecto Oy. Energiansiirtoketjua toimittavat yritykset olivat Movetec Oy, Hi-Tecimex Oy, Esbecon Oy, SKS Mekaniikka Oy ja Wireco-NB Oy. Suurin osa näistä yrityksistä on kansainvälisiä, ja niillä on maahantuoja Suomessa. Toimittajien välillä on eroja, koska joillakin yrityksillä on komponenttien valmistus alihankintana, mikä mahdollistaa valmistuksen asiakastoivomusten mukaan, ja jotkut yritykset pelkästään välittävät valmiita komponentteja. Tämä tuli ilmi erityisesti energiansiirtoketjujen palavereissa, kun vain yksi toimittaja pystyi vaikuttamaan ketjun rakenteelliseen olemukseen. Toimittajiin otettiin yhteyttä ensin sähköpostin avulla kysellen, onko heillä kehitystyön vaatimuslistan täyttäviä vaihtoehtoja. Vastausten jälkeen järjestettiin verkkopalavereita, joissa käytiin läpi toimeksiantajan ongelma, siihen mahdolliset ratkaisut ja toimittajien oma näkemys ja komponentti vaihtoehdot. Palavereiden jälkeen toimittajat lähettivät sähköpostilla ehdotuksensa. Palavereissa oli tämän opinnäytetyön tutkija Otto Heikkinen, Valmetilta tuotepäällikkö Juha Liikanen ja toimittajien edustaja.

Käydyissä palavereissa kävi ilmi, että letkujen ja energiansiirtoketjun taivutussäde saatetaan ilmoittaa eri tavalla. Letkun toimittajat saattavat ilmoittaa taivutussäteen mitattuna letkun keskilinjasta tai letkun sisäpinnasta eli minimitaivutussäteenä. Energiansiirtoketjun taivutussäde ilmoitetaan nivelpisteistä mitattuna eli rakenteen keskeltä (ks. kuvio 14). Tästä syystä energiansiirtoketjujen ja letkujen valinnoissa saattaa tulla virheitä.



Kuvio 14. Energiansiirtoketjun taivutussäteen ilmoitustapa (Valmet sisäinen materiaali)

Toimittajat ilmoittavat letkujen taivutussäteen taivutuksen sisäpinnasta mitattuna (ks. kuvio 15) muun muassa sen toiminnallisuuden vuoksi. Letkujen taivutuksissa yleensä pyritään pääsemään jonkin pinnan tai koneen osan ohi, jolloin määräävänä mittana on sisäpinta. Näin on esimerkiksi trukkien mastoissa olevissa letkukeloissa. Vastaavasti putkissa käytetään taivutussäteen keskilinjaa, koska tätä käytetään putken taivutusten mitoituksissa, sekä putkiin liitettävät liittimet mitoitetaan keskilinjaan. (Haaja 2020.)



Kuvio 15. Letkun taivutussäteen ilmoitustapa

10 Imuletkun rikkoutumisen syyt

Selvitettäessä tutkimusongelmaan vaikuttavia tekijöitä, löytyi useita mahdollisia syitä letkun rikkoutumiseen. Suurimpana vaikuttajana tähän ongelmaan pidettiin lämpötilaa, koska samoja pesureita samoilla komponenteilla käytetään kuivatusosan kellari-kerroksen teloilla, eikä siellä kyseistä ongelmaa ole. Tarkkaa tietoa pesurin koke-
masta lämpötilasta ei ole, koska sitä ei ole mitattu. Joidenkin kartonkikoneiden kuiva-
tusviiran sylinterin lähellä olevasta lämpötaskusta on mitattu yli 140 asteen lämpö-
tiloja. (Liikanen 2020.) Ilmataskujen vuoksi huuven sisällä olevat lämpötilat on vaikea
määrittää, joten oletettavasti lämpötila vaihtelee 80-140 asteen välillä.

Kumin rakenteen käyttäytyminen riippuu kumilaadusta. Kumin lämpötilankeston ylit-
tyessä eli lämmön aiheuttamassa vanhenemisessä tapahtuu seuraavaa:

- Pehmittimet haihtuvat, joka aiheuttaa kovettumista ja murtovenymän laskua.
- Kumiin alkaa muodostua uusia rikkisiltoja, jolloin tapahtuu lisävulkanoitumista.
- Kumin molekyyliketjut pilkkoutuvat, joka huonontaa mekaanisia ominaisuuksia.

Lisävulkanointi laskee kumin murtovenymää eli haurastuttaa kumia ja molekyyliket-
jujen pilkkoutuminen johtaa vetolujuuden laskuun. (Kalliomäki 2020.)

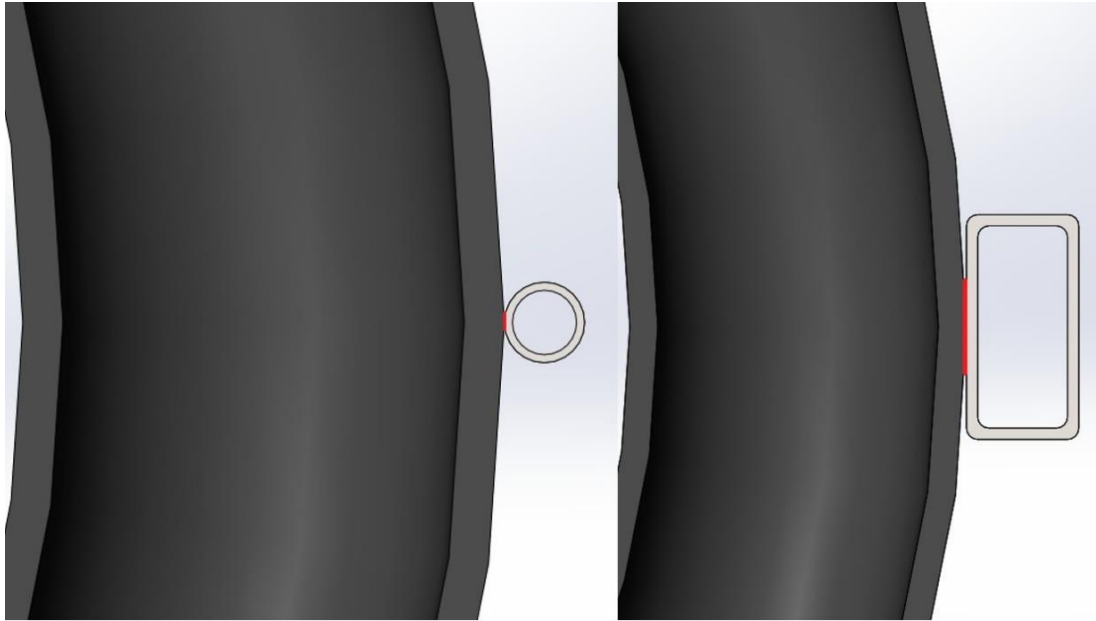
Tutkittaessa lämmön vaikutusta kumiin selvisi, että monissa kumeissa eli elastomee-
reissa tapahtuu merkittäviä muutoksia, kun ne ajan myötä altistuvat valolle, läm-
mölle tai hapelle. Näillä muutoksilla voi olla suuria vaikutuksia niiden ominaisuuksiin
ja käyttöikään. Estääkseen muutosten tapahtuminen elastomeereihin lisätään UV-
stabilointiaineita, antiotsonaatteja ja antioksidantteja. Riippuen dieeni elostomeerin
mikrorakenteesta, hapettava hajoaminen aiheuttaa aineen pehmenemistä tai kove-
nemistä. Dieeni on tyydyttymätön orgaaninen yhdiste, jossa hiiliatomien välillä on
kaksi kaksoissidosta. Kovettuminen on paljon yleisempää, koska silloin syntyy vapaita
radikaaleja, jotka yhdistyvät kumin altistuttua lämmölle, hapelle tai valolle ja tässä
prosessissa muodostuu uusia verkkosidoksia molekyylien välille. Vapaat radikaalit
ovat yhdisteitä, joilla on pariton elektroni, mikä tekee niistä herkästi reagoivia ja epä-

vakaita. Kovettuminen heikentää huomattavasti kumin joustavuutta. Kumin vanheminen hapettumisen ja lämmön takia kasvaa huomattavasti rasituksen lisäämisellä tai jos kumi on alttiina reaktiiviselle kaasulle, kuten otsonikaasulle. (Thermal-Oxidative Degradation of Rubber 2015.)

Kemikaaleja ei normaalisti käytetä kuivatusosalla, mutta haitallisia kemikaaleja saattaa tulla paperiradan mukana aiemmista prosessivaiheista. Esimerkiksi joissakin tehtaissa puristimilla käytetään lipeäpesua puristinhuopien puhdistukseen. Joten lipeä pitää huuhdella perusteellisesti pois, ettei sitä joudu seuraaviin prosessivaiheisiin. Jos huuhtelu ei ole perusteellista ja lipeää höyryt ajautuvat kuivatusosalle ja muodostuu lämmössä vaaralliseksi myrkyksi, joka haittaa kaikkia siellä olevia komponentteja. (Liikanen 2020.)

Energiansiirtoketjun välipuolan kosketus letkun pintaan on yksi vaikuttava tekijä letkun hajoamiseen. Tutkimuksen aikana ilmeni kaksi mahdollista vaihtoehtoa, kuinka kontakti vaikuttaa letkuun. Ensimmäinen johtopäätös oli puolan pintapaineen kohdistuminen pieneen pinta-alaan ja toinen oli puolan lämmönjohtavuuden vaikutus kumin rakenteeseen. Nykyinen puola on muodoltaan pyöreä, joten letkun ja puolan välinen kontaktin pinta-ala on erittäin pieni, joka keskittää kaiken voiman pienelle alalle.

Havainne kuvion (ks. kuvio 16) vasemmalta puolelta huomaa, kuinka pieni kohta letkusta osuu puolan pintaan. Kontaktikohdan pinta-ala on merkitty punaisella värillä. Kumi on joustavaa materiaalia, joten se lisää kontaktipinta-alaa upotessaan välipuolaan, mutta rasituksen määrää pieneen kohtaan voidaan vähentää puolan muodon muuttamisella. Kuvion 16 oikealla puolella on vaihtoehtoinen puolan muoto, jolla on huomattavasti suurempi pinta-ala sivusta katsottuna, mikä vähentää letkuun kohdistuvaa pintapainetta.



Kuvio 16. Havainne kuva välipuolan muodosta

Lämmön siirtyminen oli toinen johtopäätös, kuinka kontakti rikkoo letkua. Lämmön siirtyminen tapahtuu aina suuremmasta lämpötilasta matalampaan, pyrkiäkseen tasottamaan lämpötilaeroa. Lämpö pystyy siirtymään kolmella eri tavalla konduktiolla, säteilyllä tai konvektiolla. Konduktiolla eli johtumisessa tarkoitetaan lämmön siirtymistä aineen sisällä, joka myös voi tapahtua eri aineiden ollessa kontaktissa toisiinsa. Konvektiolla eli kuljetuksella tarkoitetaan lämmön siirtymistä aineen, kuten kaasun tai nesteen mukana. (Lienhard V 2019.) Lämmönjohtavuutta merkitään symbolilla λ (Lamda), mikä tarkoittaa mitä pienempi lamda on sitä huonommin materiaali johtaa lämpöä. Ruostumattomalla teräksellä lämmönjohtavuus on 50λ ja kumilla $0,15 \lambda$ (Valtanen 2016, 384). Kyseisessä tilanteessa kuuman kostea ilma kuljettaa lämpöä imuletkuun ja energiansiirtoketjuun. Ketjun ollessaan ruostumatonta terästä, se omaksuu huomattavasti paremmin konvektoitua lämpöä kuin kumiletku. Tämän seurauksena puola kuumenee ympäröivään lämpötilaan helpommin ja konduktoi lämpöä kumiletkuun kontaktien kautta. Tähän on vaikea vaikuttaa, koska energiansiirtoketjun täytyy olla metallia ja välipuolien päällystäminen olisi turha kustannuserä.

Imuletkun sisäseinään tarttuva lika saattaa mahdollisesti vaikuttaa imuletkun haajoamiseen. Sillä lian tarttuessa letkun pintaan, se muodostuu erittäin kovaksi materi-

aaliksi, lähes kivikovaksi. (Liikanen 2020.) Jos tällainen lian kertymä muodostuu letkun taivutuskohtaan, se varmasti ahdistaa letkun liikettä ja rasittaa letkun rakennetta.

Kosteus on suuresti läsnä huuvan sisällä, koska huuvan keskimääräinen kosteustaso on 100-200 g vettä kilogrammassa kuivaa ilmaa (Juppi 2020), kun taas normaali huoneilma on 4 g vettä kilogrammassa kuivaa ilmaa. Tämä vähentää materiaalivaihtoehtoja huuvan sisällä käytettäville komponenteille. Esimerkiksi teollisuusletkumateriaaleissa silikonit ovat heikko kosteutta vastaan. Suuri kosteustaso lisää korroosion leviämistä komponentteihin, kuten energiansiirtoketjuun. Tästä syystä ruostumattoman teräksen käyttöä suositellaan eniten, koska esimerkiksi pinnoitteet eivät kestä niin hyvin kuumaa ja kosteaa ympäristöä.

Teollisuusletkun ja energiansiirtoketjun taivutussäteiden yhteensopimattomuus vaikuttaa huomattavasti letkun käyttöikänsä. Tutkimuksessa selvisi imuletkun taivutussäteen olevan suurempi kuin energiansiirtoketjun, jonka seurauksena letku oli painautuneena ketjun ulkoreunaan. Tämä antaa letkulle huomattavasti enemmän ulkoisia rasituksia.

Yksi vaikuttavista tekijöistä on pesurin toiminta, koska pesurin tarkoitus on olla toiminnassa yhtä aikaa paperikoneen kanssa. Tämä tarkoittaa pesurin jatkuvaa liikettä, jonka seurauksena letkuun tulee yhtenäistä taivutusrasitusta koko ajan, vaikka liike on hidasta.

11 Kehitystyön tulokset

11.1 Imuletkun valinnat

Imuletkujen valinnoissa käytettiin apuna vaatimuslistan kriteereitä, jotka olivat letkujen kokojen saatavuus, ulkohalkaisijat, lämpötilankesto, taivutussäteet ja suojaker-

roksen materiaali. Lämmönkesto oli tärkein kriteeri, jonka noudattaminen oli ehdotonta. Lämmönkeston vaatimus on 140 °C, koska nykyisten pesurien komponenttien lämpötilan keston suositus on sama. Taivutussäteen maksimiarvoksi määritettiin 200 mm, jotta imuletkun ja energiansiirtoketjun taivutussäteet olisivat yhteensopivia. Ilmoitetut taivutussäteet ovat letkun keskilinjasta. Ulkohalkaisijan maksimi arvo oli 90 mm, joka määräytyi energiansiirtoketjun letkujen mentävän aukon koon mukaan. Koko vaihtoehto kriteerillä haetaan samalta valmistajalta nykyisen ja uuden koon mukaista letkua. Nykyisen letkun sisähalkaisija oli 50 mm, joten tämä oli huomioitava 2 tuuman eli 50,8 mm sisähalkaisijan letkuissa, jotta pieni koko ero huomioitiin. Valintataulukossa (ks. taulukko 2.) kriteerit on korostettu väreillä, eli onko letku saavuttanut tietyn kriteerin vai ei. Vihreä väri tarkoittaa hyväksyttyä, punainen hylättyä ja keltainen tarkoittaa melkein hyväksyttyä, mutta asiaa olisi tutkittava tarkemmin. Toimittajien tarjoamissa letkuissa materiaali oli lähes sama, eli EPDM-kumi. Näiden teollisuusletkujen lämpötilankesto erot johtuvat erilaisista kumiseoksista.

Taulukko 2. Imuletkun valintataulukko

Yritykset:	Imuletkut:	Koko vaihtoehdot	Ulkohalkaisijat Max 90 mm	Lämpötilankesto Min 140 °C	Taivutussäde Max 200 mm
Teknikum Oy	Nykyinen	50 mm	63 mm	100 °C	225 mm
Parker Oy	Dragon Breath	2"	65 mm	-40...+177 °C	2"=185 mm
Teknikum Oy	Räätälöity letku	50 mm ja 63 mm	63mm ja 78 mm	+120 °C	50 mm=185 mm 63 mm=?
Fluiconnecto Manuli Oy	Multiservice HT 12SD	2" ja 2,5"	63mm ja 77 mm	150 °C	2"=225 mm 2,5"=270 mm
Nestepaine Oy	Calikler HT	50mm ja 60 mm	64 mm ja 73 mm	-30...+180 °C	50 mm=125 mm 60 mm=150 mm
Dunlop hiflex	Flexor R4 644 HT	2" ja 2,5"	62mm ja 76 mm	-40...+135 °C	2"=133 mm 2,5"=163 mm

Taulukon mukaan sopivin letkuvaihtoehto oli Nestepaine Oy:n toimittama Calikler HT (ks. liite 1.), koska se vastasi kaikkiin kriteereihin. Toisena hyvänä vaihtoehtona olisi ollut Parker Oy:n Dragon breath (ks. liite 3.), mutta letkua ei valmisteta 2,5" kokoisena tai Dunlop hiflex Oy:n Flexor R4 644 HT (ks. liite 2.), mutta letkun lämpötilankesto ei ole aivan vaadittua tasoa. Kahta letkua ei hyväksytty, koska toisen lämpötilan

kesto ei ole vaadittua tasoa ja toisen letkun taivutussäde on liian suuri. Teknikum Oy ilmoitti, että 63 mm letkun taivutussädettä ei tiedetä ennen kuin se on valmistettu.

11.2 Energiansiirtoketjun valinnat

Energiansiirtoketjujen valinnoissa käytettiin apuna vaatimuslistan kriteereitä, jotka olivat letkun mentävän aukon koko, materiaali, taivutussäde ja korkeus. Puolan muotokriteeristä luovuttiin, koska tutkimuksen aikana syntyi ristiriita puolan kontaktin vaikutuksesta. Aukon koolla laskettiin suurin sallittu letkun ulkohalkaisija kyseisille ketjuille. Suositus oli, että letkulle jää 10-20 % lisää tilaa ulkohalkaisijasta laskettuna. Tarkoituksena oli saada energiansiirtoketju, jonka sisään mahtuisi 60 mm tai 2,5” sisähalkaisijalla oleva teollisuusletku ja tästä syystä minimi kriteerinä on 70 mm ulkohalkaisija. Materiaalikriteerinä oli tarpeeksi kestävä metalli, joka kestäisi huuuvan olosuhteet. Korkeudeksi oli määritetty maksimiksi 500 mm ja taivutussäteen suurimaksi määräksi on määritetty 200 mm, jotta energiansiirtoketju mahtuisi liikkumaan pesurin runkopalkin sisällä. Taulukon 3 värit tarkoittavat samaa kuin taulukossa 2.

Taulukko 3. Energiansiirtoketjun valintataulukko

Yritykset:	Energiansiirtoketjut:	Aukon koko L x K	Maksimi letkun ulkohalkaisija min 70 mm	Materiaali	Taivutussäde max 200 mm	Korkeus max 500 mm
Movetec Oy	Nykyinen	110x70 mm	58-63 mm	Ruostumaton teräs	200 mm	500 mm
Movetec Oy	Räätälöity energiansiirtoketju	110x100 mm	83-90 mm	Ruostumaton teräs	185 mm	500 mm
HI-TECIMEX Oy	TM010-125	115x78 mm	65-71 mm	Ruostumaton teräs	200 mm	500 mm
Esbecon Oy				Ruostumaton teräs	250 mm	664 mm
SKS Mekaniikka Oy	C20AS17281	120x80 mm	67-72 mm	Ruostumaton teräs	200 mm	500 m
Wireco-NB Oy	A-B-K Series	100x75 mm	62-68 mm	Galvanoitu teräs	200 mm	500 m

Energiansiirtoketjuvalinnat olivat helppoja, koska vain yksi oli hyväksyttävä vaihtoehto. Tämä johtuu siitä, että Movetec Oy on ainut toimittaja, joka pystyy räätälöimään tuotteitaan. Muiden toimittajien vaihtoehdot eivät läpäisseet aukon koko kriteeriä ja seuraava suurempi koko vaihtoehto ei läpäisisi taivutussäteen tai korkeuden puolesta. Tämä johtuu pesurin energiansiirtoketjun erikoisista koko vaatimuksista, jota ei löydy suoraan toimittajien katalogista. Jokainen ketjuvaihtoehto oli itsestään kannatteleva. Yhdeltä toimittajalta ei saanut tarkkoja tietoja energiansiirtoketjun mitoista. Taulukosta 3 huomaa Movetec Oy:n vaihtoehto olevan sopivin, koska se vastasi kaikkiin kriteereihin. Heidän kanssa tehty kehitysehdotus oli kasvattaa ketjun sivulevyn korkeutta, jotta suurempi imuletku mahtuisi sisään ja pienentää taivutussädettä, jotta ketju mahtuisi pesurin runkopalkin sisään.

12 Johtopäätökset ja pohdinta

Tutkimusongelmana oli tutkia, mitkä tekijät vaikuttavat imuletkun rikkoutumiseen. Tutkimuksen mukaan lämpötila, liike, välipuolan kontakti, letkun liiallinen taivutussäde ja lämpötilankesto riittämättömyys olivat pääsyitä, miksi näin tapahtui. Näiden asioiden huomioimisella pystyi määrittämään uusien imuletkujen ja energiansiirtoketjujen vaadittavat kriteerit. Välipuolan muodon tutkimuksessa tuli ristiriita siitä, onko isommalla kontaktipinta-alalla huonompi vaikutus imuletkuun, joten puolan muoto pidettiin samana kuin entisessä energiansiirtoketjussa. Kehitystyön tuloksena Nestepaine Oy:n tarjoamat teollisuusletkut olivat sopivimmat vaihtoehdot nykyisen letkun korvaamiseen ja uusiin valmistettaviin pesureihin. Movetec Oy:n tarjoama kehitysehdotus energiansiirtoketjulle oli otollisin vaihtoehto uusiin valmistettaviin pesureihin.

Opinnäytetyö onnistui hyvin päästessään toimeksiantajan määritettyihin tavoitteisiin. Kehitystyön avulla saatiin uudet komponenttivaihtoehdot määritettyä ja tutkimuksen avulla saatiin syvällisempää ymmärrystä ilmiöstä ja vaikuttavista tekijöistä. Tutkiessa nykyistä imuletkua ilmeni, että sen ominaisuudet eivät olleet aivan niitä mitä oletet-

tiin, kuten taivutussäde olikin ilmoitettu letkun ulkoreunasta, eikä keskeltä letkua, joten taivutussäde oli oletettua isompi. Kehitystyön tulokset olivat tyydyttäviä, mutta hyväksyttäviä vaihtoehtoja olisi voinut olla enemmän, kuten energiansiirtoketjuissa oli vain yksi hyväksyttävä vaihtoehto. Lisää hyväksyttäviä vaihtoehtoja olisi todennäköisesti saanut enemmän, jos olisi ottanut enemmän ulkomaalaisia yrityksiä mukaan.

Opinnäytetyön luotettavuus toteutettiin vertailemalla haastattelujen, palaverien ja keskustelujen saatuja tietoja kirjallisiin lähteisiin ja dokumentteihin. Joidenkin aineistojen kohdalla ei ollut tarvetta varmistaa tietoja, koska ne olivat tutkijan mielestä varmasta lähteestä, kuten tuotepäällikkö Juha Liikasen haastattelut.

Tämän tutkimuksen jatkokehityksenä voisi olla kustannusten tutkiminen, käyttöikä testaaminen ja syvällisempi perehtyminen lämmön vaikutukseen komponenteissa. Kustannusten tutkimisella voisi määrittää taloudellisimman vaihtoehdon, kuten olisi halpa ja vähemmän kestävä vaihtoehto kustannusten kannalta parempi kuin kalliimpi ja kestävämpi. Käyttöiän testaamisella pystyisi parhaiten määrittämään letkun kestävyys ja ympäristön vaikutukset, mutta se vaatisi paljon aikaa sekä pääomaa. Syvällisemmässä lämpötilan vaikutusten tutkimisessä voisi perehtyä enemmän kumiin kohdistuviin lämpötiloihin, kuten lämpötilojen mittaamisella ja testeillä.

Lähteet

Cable carrier configuration. N.d. Tsubaki Kabelschlepp myyntikuvasto. Viitattu 1.4.2020. https://tsubaki-kabelschlepp.com/uploads/tx_tkg17pim/documents/pdf/Technical-information-cablecarriers-EN.pdf.

Ciringione, J. 2010. The evolution of cable carriers. Artikkel The fabricator sivustolta. Viitattu 31.3.2020. <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/shopmanagement/the-evolution-of-cable-carriers>.

Energy chain. 2020. BF Machine tools Accessory Co., Ltd:n myynti kuva. Viitattu 19.5.2020. <http://product.forbuyers.com/d116110412.html>

EPDM – eteeni-propeenikumi. N.d. Artikkel Ravelast.com sivustolta. Viitattu 6.4.2020. <http://www.ravelast.com/tutkimus-ja-kehitys/kumi-elastomeerit/epdm.html>.

Haaja, K. 2020. Tuotepäällikkö. Parker Oy. Haastattelu 14.4.2020.

Hägglom-Ahnger, U. & Komulainen, P. 2003. Paperin ja kartongin valmistus-Kemiallinen metsäteollisuus 2. Helsinki: Opetuslaitos.

Juppi, K. 2020. Tuotekehityspäällikkö. Valmet Technologies Oy. Haastattelu 20.4.2020.

Kailatec Oy. 2020. Matalapaine letkun kuva Kailatec Oy:n sivulta. <https://kauppa.kailatec.fi/tuote/matalapaineletku-carboflex-gr/>

Kalliomäki, J. 2020. Tuotepäällikkö. Teknikum Oy. Haastattelu 4.5.2020.

Kananen, J. 2015. kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Kananen, J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Karlsson, M. & Paltakari, J. 2010. Introduction to paper drying and its principles. Papermaking Part 2. Drying. Helsinki: Paper Engineers' Association/Paperi ja Puu Oy.

Laurila, T. 2007. Kumitekniikka: Lyhyt johdatus kumitekniikan perusteisiin. Helsinki: Opetushallitus.

Letkut ja paineosat ammattitaidolla. 2011. Salhydro Oy myyntikuvasto. Viitattu 6.4.2020. https://www.hydromarket.fi/files/PDF/salhydro_teollisuus_2011_web.pdf.

Lienhard IV, J. & Lienhard V, J. 2019. A heat transfer textbook, 5th edition. Phlogiston press julkaisema verkkokirja. Viitattu 22.4.2020. <https://ahtt.mit.edu/wp-content/uploads/2019/08/AHTTv500.pdf>.

Liikanen, J. 2020. Kuivatusosan tuotepäällikkö. Valmet technologies Oy. Haastattelu 9.4.2020.

Paperitekniiikan ja automaation oppimisympäristö. 2020. Knowpap 20. Viitattu 19.5.2020.

http://www.knowpap.com/www_demo/suomi/knowpap_system/user_interfaces/tuotantoprosessit/tuotantoprosessit.htm

Sorsa, J. 2015. Materiaalitekniikka. Sanoma Pro.

Suureet ja yksiköt. SI-mittayksikköjärjestelmä. 2002. SI opas. Suomen standardisoimisliitto. Viitattu 17.4.2020.

<http://web.archive.org/web/20120831234747/http://www.sfs.fi/files/70/si-opas.pdf>.

Technical basics for industrial hose. 2012. Parker Oy:n sisäinen koulutusmateriaali teollisuusletkuista.

Thermal-Oxidative Degradation of Rubber. 2015. Artikkelin Polymer database sivustolta. Viitattu 16.4.2020.

<http://polymerdatabase.com/polymer%20chemistry/Thermal%20Degradation%20Elastomers.html>.

Tutkimus ja kehitys. 2019. Artikkelin Valmet technologies sivustolta. Viitattu 6.4.2020. <https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/tutkimus-ja-kehitys/>.

Vacuum Hose. N.d. Artikkelin PAR Group sivustolta. Viitattu 1.4.2020. <https://www.par-group.co.uk/hose-and-ducting/vacuum-hose/>.

Valmet lyhyesti. 2019. Artikkelin Valmet Technologies sivustolta. Viitattu 6.4.2020. <https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/>.

Valtanen, E. 2016. Tekniikan taulukkokirja. Genesis kirjat Oy.

Liitteet

Liite 1. Calikler HT tiedote

TRELLEBORG FLUID HANDLING SOLUTIONS



CALIKLER HT



APPLICATIONS

Air line from compressor/booster on all types of tanker lorries for bulk transport of powdered products.

ADVANTAGES

- Extremely flexible with very low bending radius.
- Suitable for all types of road tanker compressors/boosters.
- Can be supplied fitted with swaged couplings, conforming with transported materials specifications.

TECHNICAL DESCRIPTION

Inner tube: heat resistant EPDM, white, smooth.

Reinforcement: high temperature resistant textile with embedded steel helix.

Cover: weather resistant EPDM, black, fabric impression.

Temperature range: -30°C to +180°C.
Peaks at +240°C.

MATERIAL HANDLING			CALIKLER HT							
ID mm	WALL THICKNESS mm	OD mm	WORKING PRESSURE bar	BURSTING PRESSURE bar	MAX. VACUUM bar	BENDING RADIUS mm	WEIGHT kg/m	LENGTH m	ARTICLE NUMBER	STOCK (+) or min. order m
50.0	7 ±1	64.0 ±1.5	3	18	0.8	125	1.81	20	0060213	•
50.0	7 ±1	64.0 ±1.5	3	18	0.8	125	1.81	40	0060212	•
55.0	6.5 ±1	68.0 ±1.5	3	18	0.8	140	1.84	20	0200589	120
55.0	6.5 ±1	68.0 ±1.5	3	18	0.8	140	1.84	40	0200588	120
60.0	6.5 ±1	73.0 ±1.5	3	18	0.8	150	1.98	20	0070666	120
60.0	6.5 ±1	73.0 ±1.5	3	18	0.8	150	1.98	40	0070667	120
70.0	7 ±1	84.0 ±1.5	3	18	0.8	210	2.63	20	0200591	•
70.0	7 ±1	84.0 ±1.5	3	18	0.8	210	2.63	40	0200590	120
75.0	7.5 ±1	90.0 ±1.5	3	18	0.8	225	2.96	20	0060215	•
75.0	7.5 ±1	90.0 ±1.5	3	18	0.8	225	2.96	40	0060214	•
89.0	7 ±1	103.0 ±1.5	3	18	0.8	310	3.26	20	0200593	•
89.0	7 ±1	103.0 ±1.5	3	18	0.8	310	3.26	40	0200592	120

Tolerance on length: ±1% (ISO 1307 Standard).

Liite 1. Flexor R4 644 HT tiedote

// FLEXOR R4 644 HT**Extra flexible - High temperature
SAE 100 R4**

Tube: oil resistant synthetic rubber.

Reinforcement: high tensile textile cords with embedded steel helix wire.

Cover: abrasion, ozone and hydrocarbon resistant synthetic rubber.

MSHA APPROVED

Application: fuel, oil and hydraulic fluids with 50% max aromatic content suction and delivery. Specially designed for high temperature applications and hydraulic oil return lines requiring tight bend radius.

Constant operation: -40 °C +135 °C (-40 °F +275 °F)

Length: 61 m max

Item Code	↔			↔			↺↻		↻↺		↷		↵	
	Dash	mm	in	mm	in		Mpa	psi	Mpa	psi	mm	in	kg/m	lb/ft
1001277	12	19,0	3/4"	30,00	1,18		2,1	300	8,4	1200	38,0	1,50	0,630	0,43
1001274	16	25,0	1"	36,00	1,42		1,7	250	6,8	986	50,0	1,97	0,810	0,55
1001196	20	32,0	1 1/4"	43,00	1,69		1,4	200	5,6	800	64,0	2,52	1,000	0,68
1001279	24	38,0	1 1/2"	49,00	1,93		1,0	150	4,0	600	76,0	2,99	1,150	0,78
1001281	32	51,0	2"	62,00	2,44		0,7	100	2,8	400	102,0	4,02	1,490	1,01
1001283	40	63,0	2 1/2"	76,00	2,99		0,5	75	2,0	300	125,0	4,92	2,230	1,50
1001285	48	76,0	3"	89,00	3,50		0,5	75	2,0	300	152,0	5,98	2,750	1,85
1001290	64	102,0	4"	116,00	4,57		0,5	75	2,0	300	203,0	7,99	3,610	2,43

Liite 2. Dragon Breath tiedote



DRAGON BREATH® Hot Air Blower Hose

Series SW360

Series SW360 is a heavy duty, high pressure hot air blower hose designed for bulk loading/unloading of dry materials in plants or transport vehicles. The hose transfers hot air from a compressor to the storage bin/cargo bay to propel bulk product. The hose construction incorporates a tube that features a temperature rating to 350°F (177°C) and resists drying out. The dual wire helix provides full suction capability, kink resistance, flexibility for ease of handling and a path to conduct a static electrical charge to ground. The cover resists abrasion, heat and ozone.

Tube:	Black EPDM
Reinforcement:	Multiple textile plies with single or dual wire helix
Cover:	Black EPDM; wrapped finish
Temp. Range:	-40°F to +350°F (-40°C to +177°C)
Brand Method:	Black text on yellow stripe
Brand Example:	PARKER DRAGON BREATH SW360 HOT AIR BLOWER HOSE XXX PSI WP
Design Factor:	4:1
Industry Standards:	None applicable
Applications:	<ul style="list-style-type: none"> Hot air blower systems In-plant transfer; delivery, loading/unloading General industrial, transportation
Compare to:	ContiTech Plicord Torrid Air; Eaton Boston Wildcat Hot Air; Gates Hot Air Blower
Vacuum:	29" Hg (737 mm Hg)

Crimp Specifications

For currently qualified crimp specifications including coupling designation, refer to CrimpSource at www.parker.com/crimpsource. Refer to the COS-K4 crimper for crimp specs for hose 4" ID and smaller. Refer to the COS-K6 or COS-K10 crimpers for hose IDs larger than 4".

#													
Part Number	ID (in)	ID (mm)	Reinf Layers	OD (in)	OD (mm)	Approx Wt (lbs/ft)	Approx Wt (kg/m)	Min Bend Rad (in)	Min Bend Rad (mm)	Max WP (psi)	Max WP (bar)	Nom Std Pack Qty (ft)	Pkg Type
SW360-1500	1-1/2	38.1	2	2.0	51.0	0.89	1.32	5	127	200	14	100	Coil
SW360-2000	2	50.8	2	2.6	64.8	1.17	1.74	6	152	200	14	100	Coil
SW360-3000	3	76.2	2	3.6	90.9	1.97	2.93	12	305	200	14	100	Coil
SW360-4000	4	101.6	2	4.6	116.6	2.82	4.20	16	406	125	9	100	Coil
SW360-6000	6	152.4	2	6.7	169.4	4.93	7.34	24	610	100	7	100	Coil